

AUS DER NEUROLOGISCHEN UNIVERSITÄTSKLINIK ZÜRICH
(DIREKTOR: PROF. DR. MED. G. BAUMGARTNER)

ARBEIT UNTER DER LEITUNG VON PROF. DR. MED. D. LEHMANN

Topographie binokular und monokular evozierter Potentiale

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG

DER DOKTORWÜRDE DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT ZÜRICH

VORGELEGT VON

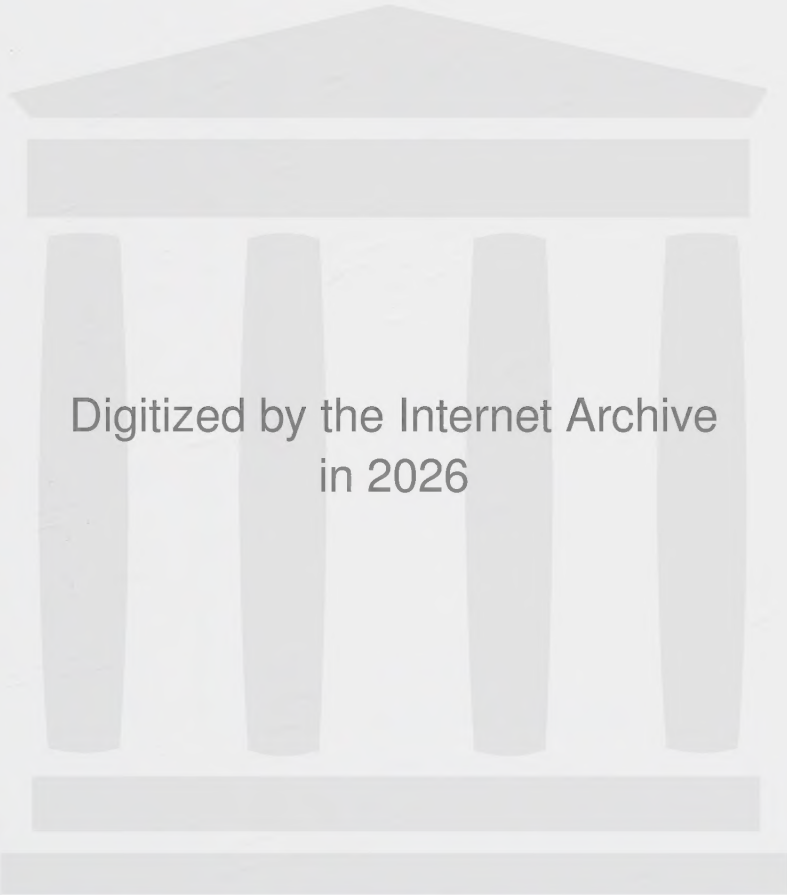
KONSTANTIN-PHOEBUS ZAFIRIDIS

VON ATHEN/GRIECHENLAND

GENEHMIGT AUF ANTRAG VON PROF. DR. MED. G. BAUMGARTNER

ZÜRICH 1981

Druck: Robert Hofmann



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507203_0070

AUS DER NEUROLOGISCHEN UNIVERSITÄTSKLINIK ZÜRICH
(DIREKTOR: PROF. DR. MED. G. BAUMGARTNER)

ARBEIT UNTER DER LEITUNG VON PROF. DR. MED. D. LEHMANN

binokular und monokular evozierter Potentiale

DISSERTATION

AN DER UNIVERSITÄT ZÜRICH

MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
ZÜRICH

VERFASST VON

PHOEBUS ZAFIRIDIS

ATHEN, GRIECHENLAND

Zafiridis, Konstantin-Phoebus
Topographie binokular und monokular evozierter
Potentiale.
Zürich, 1981. - III, 37 Seiten : Ill. ; 23 cm
Diss. med. Univ. Zürich, 1981

GENEHMIGT AUF ANTRAG VON PROF. DR. MED. G. BAUMGARTNER

ZÜRICH 1981

Druck: Robert Hofmann



INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG	1
II. METHODE	6
III. RESULTATE	10
1. Amplitudenprofile	10
2. Lokalisation des Profilmaximums	13
3. Latenzen der maximalen evozierten Antwort	14
4. Amplituden der maximalen evozierten Antwort	15
IV. DISKUSSION	16
V. ZUSAMMENFASSUNG	20
REFERENZEN	22
TABELLEN	25
ABBILDUNGEN	30
CURRICULUM VITAE	37

I. EINLEITUNG

Elektrophysiologische und psychophysische Daten zeigen, dass das visuelle System empfindlicher für binokulare als für monokulare Reize ist. Daraufhin weisen die binokular amplitudenhöheren evozierten Potentiale (Campbell und Mattei 1970, Amigo et al. 1978, Adachi 1979) und Beobachtungen der Sehschärfe, der subjektiven Helligkeit und der Flimmerfusionsfrequenz beim Menschen (Blake und Fox 1973, Rose 1980). Einzelneuronenregistrierungen bei Tieren haben gezeigt, dass Neurone in der visuellen Area 17 häufiger nur von einem Auge aus aktiviert werden als Neurone in höheren visuellen Verarbeitungsgebieten (Baker et al. 1974), etwa in den Areae 18 oder 19, in denen alle Neurone durch Stimulation über beide Augen erregt werden können (Bishop 1973, Zeki 1980). Es gibt also Hinweise dafür, dass die binokulare Informationsverarbeitung effizienter ist als die monokulare und dass die Neuronenpopulationen, die auf beidäugige oder einäugige Darbietung von Informationen reagieren, unterschiedlich lokalisiert sind.

Die cortikale Repräsentation des vertikalen Meridians der oberen Hemiretina liegt in Area 17 weiter posterior als in Area 18, während umgekehrt das entsprechende Areal für die untere Hemiretina für Area 17 weiter rostral liegt als das für Area 18. Entsprechend den oben referierten Befunden mono- und binokular erregbarer Cortexneurone sollten daher evozierte Potentiale, die von der oberen Hemiretina monokular ausgelöst wurden, rostral grössere Amplituden haben, während die binokular ausgelöste

Aktivität ein posterior gelegenes Maximum erwarten lässt, denn corticale Neuronenpopulationen wirken als Potentialgeneratoren und verursachen damit je nach Lokalisation oder Orientierung bei Registrierung der evozierten Massenpotentiale Potentialmaxima unterschiedlicher Lokalisation (Lehmann und Skrandies 1979).

Es ist bekannt (z.B. Lehmann und Skrandies 1980), dass die maximalen Amplituden visuell evozierter Potentiale durch Schachbrettmuster-Inversion bei bilateral-symmetrischer Stimulation auf oder nahe bei der Skalp-Mittellinie liegen. Es kann ausserdem vermutet werden, dass sich Unterschiede in der Lokalisation der Potentialverteilung zeigen, wenn unterschiedliche Neuronenpopulationen für die Differenzierung von monokularen und binokularen Reizen verantwortlich sind. Da, wie oben erwähnt, der vertikale Gesichtsfeld-Meridian einen Gradienten in anterior-posteriorer Richtung hat, sollte die Amplitudenverteilung evozierter Potentialfelder entlang der Mittellinie bei binokularer und monokularer Stimulation unterschiedlich sein.

Ein für diesen Zweck geeignetes praktisches Vorgehen ist die Registrierung der evozierten Skalpfelder über 4 Mittellinien-elektroden und die Konstruktion der Amplitudenprofile der Potentialverteilung auf dem Skalp (Shaw 1956) zur Zeit der maximalen evozierten Antwort in einem gegebenen Zeitfenster nach dem Stimulus (Lehmann und Skrandies 1979). Die Amplitudenprofile bei monokularer und binokularer Stimulation können verglichen und Unterschiede der räumlichen Verteilung dadurch messbar werden. Dies ist schematisch in Abb. 1 illustriert. Die beiden dort

hypothetisch eingetragenen Amplitudenprofile sind in anterior-posteriorer Richtung unterschiedlich und wurden über 4 angenommene Ableitpunkte entlang der sagittalen Kopfmittellinie "gemessen". Diese hypothetische Potentialverteilung soll experimentell geprüft werden. Abb. 1A zeigt, dass bei einer Verschiebung der Potentialfeldgipfel entlang der Mittellinie an den 4 Testpunkten unterschiedliche lokale Spannungswerte zu erwarten sind. Um zu beweisen, dass die in Abb. 1A als Feldverteilung a bezeichnete Amplitudenprofilkurve mehr anterior ist, wäre zu erwarten, dass die Elektroden 1 und 2 für Profil a höhere Werte als für Profil b zeigen, dass aber die Elektroden 3 und 4 für Profil a niedrigere Werte als für Profil b zeigen. Bei den 4 von uns benutzten Ableitpunkten könnte sich hypothetischerweise der Fall ergeben, dass die beiden Amplitudenprofile symmetrisch erfasst werden wie in Abb. 1A; es kann sich aber auch möglicherweise der Fall ergeben, dass sie unsymmetrisch erfasst werden, wie in Abb. 1B gezeigt. In diesem Fall wird z.B. von Profil a asymmetrisch nur die anteriore Hälfte des Feldgipfels registriert.

Eine einfachere, aber gröbere Methode für den Beweis, dass die beiden Feldverteilungen topographisch verschieden sind, ist die Feststellung der Lokalisation des Maximalwertes des Profils und der Ortsvergleich dieser Maxima zwischen zwei Stimulusbedingungen. Bei diesem Vorgehen wird auf einen erheblichen Teil der Daten verzichtet. Die Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens müssen aber den Resultaten der detaillierten Untersuchung der Feldverteilung entsprechen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden beide Methoden angewendet. Bei den bekannten erheblichen individuellen Unterschieden der Topographie der evozierten Potentialfelder zwischen Versuchspersonen (Lehmann 1981) ist eine Mittelung der Werte einer nicht zu kleinen Gruppe von Versuchspersonen erforderlich, da Idiosynkrasien der einzelnen Versuchspersonen das Ergebnis tunlichst nicht entscheidend beeinflussen sollen.

Es ist bekannt, dass die Stimulation der oberen Hemiretina (der unteren Hälfte des visuellen Gesichtsfeldes) und die Stimulation der unteren Hemiretina (der oberen Hälfte des visuellen Gesichtsfeldes) Amplitudenmaxima der evozierten Potentiale mit unterschiedlicher Lokalisation erzeugt (Michael und Halliday 1971, Skrandies 1980). Die Unterschiede der evozierten Maximalokalisation lassen sich auf die anatomisch-geometrischen Verhältnisse der neuralen Generatoren im Schädel zurückführen, die durch die Reizung der oberen oder unteren Hemiretina beeinflusst werden. Es wurde ferner nachgewiesen, dass die evozierten Potentiale bei Reizung der oberen Hemiretina andere Latenzen und andere Latenzänderungen haben bei Veränderung der Reizparameter als die von der unteren Hemiretinareizung ausgelösten Potentiale (Lehmann und Skrandies 1979). Neben den lokalisatorischen Unterschieden zwischen binokular und monokular ausgelösten Potentialen sind also auch Latenzdifferenzen zwischen den von der oberen oder unteren Hemiretina ausgelösten evozierten Potentialen zu erwarten. Um auszuschliessen, dass Unterschiede zwischen monokularer und binokularer Reizung nur auf einen Reizparameter zu beziehen sind, haben wir in dieser

ersten Untersuchungsserie zwei verschiedene Stimulationsmuster verwendet: Schachbrettmuster mit grossen (56 min.) und kleinen (14 min.) Karos. Damit ergeben sich vier Reizbedingungen: obere und untere Hemiretina, grosse und kleine Karos.

II. METHODE

1. Versuchspersonen: Nach Abschluss methodischer Vorversuche wurden 41 gesunde Versuchspersonen untersucht; die Daten von 4 Personen waren aus technischen Gründen nicht auswertbar. Jede Versuchsperson wurde in der gleichen Sitzung monokular rechts, monokular links und binokular untersucht. Eine Versuchsperson wurde in der Regel nur mit einer der vier Stimulusbedingungen (obere oder untere Hemiretina, 56 min oder 14 min Karos) kontrolliert. 11 Versuchspersonen wurden mit zwei oder mehr der vier Stimulusbedingungen untersucht.

2. Stimulation: Auf ein 16 Sehwinkelgrad grosses transparentes rundes Glasfeld wurde von hinten ein Schachbrettmuster projiziert, das mit einer Periodik von 2 Hz so angeboten wurde, dass die Quadrate jeweils 500 msec weiss und 500 msec schwarz waren. Damit wurde der gesamte Lichtfluss konstant gehalten. Der feedback-kontrollierte Spiegel führte diese Bildverschiebung innerhalb von weniger als 0,3 msec ohne Ueberschiessen oder Flattern aus. Die mittlere Leuchtdichte des Schirms betrug 50 cd/m^2 , der Kontrast 94 %, die Sehdistanz 90 cm. Die Grösse der Schachbrettquadrate war 56 Bogenminuten (siehe Abb. 2A) oder 14 Bogenminuten (siehe Abb. 2B). Die Versuchsperson sass licht- und geräuschausgeschirmt vor der Stimulationseinrichtung und kommunizierte mit dem Versuchsleiter über ein Intercomsystem. Während der Registrierungen hatte die Versuchsperson ihren Kopf in einer Kinn-Stirn-Stütze. In den Pausen zwischen

den Registrierungen konnte sich die Versuchsperson entspannen und zurücklehnen. Während der Registrierung wurde der Kopf und insbesondere die Augenposition und Augenöffnung über ein closed circuit-TV-System laufend überwacht. Zur Stimulation der oberen oder unteren Hemiretina musste die Versuchsperson ein etwa 20 Bogenminuten grosses Dreieck am oberen oder unteren Ende des runden Stimulusfeldes fixieren. Jede der drei Sehbedingungen: rechtes Auge, linkes Auge oder beide Augen, wurde für jede der vier Stimulusbedingungen (56 oder 14 Bogenminuten Karo; obere oder untere Hemiretina) benutzt.

3. Registrierung: Die Skalpfeldpotentiale wurden von GRASS-Elektroden, die mit GRASS EC 2 Elektrodenpaste auf dem Skalp befestigt wurden, von vier Positionen über dem Okziput in der Mittellinie registriert. Die Elektroden waren auf dem Inion und 2,5, 5,0 und 7,5 cm anterior vom Inion angebracht. Die Referenzelektrode war in der Mittellinie bei 30 % der Nasion-Inion-Distanz angebracht, die Erdungselektrode am Scheitel fixiert. Zur Verstärkung der Signale wurden GRASS P 511 Vorverstärker benutzt mit einem Bandpass von 0,3-100 Hz (6 db Punkte). Die Hirnantworten auf 93 Schachbrettmuster-Umkehrungen wurden für jedes gemittelte evozierte Potential aufsummiert. In einigen Sitzungen wurde die Summierung on-line mit einem Mnemotron CAT 1000 Averager durchgeführt und das Resultat auf einem HP XY Schreiber ausgeplottet und mit der Hand gemessen. Andere Experimente wurden on-line (oder off-line von einem Analogtape) summiert und über einen PDP 11/34

Computer analysiert. Die Resultate wurden auf einem VERSATEC Printer-Plotter ausgegeben (Beispiel siehe Abb. 3). Ein Schema der Datensammlung gibt Abb. 4. In jeder Stimulusbedingung wurden monokular links, monokular rechts und binokulare Daten von den gleichen Versuchspersonen gesammelt. Jede Stimulusbedingung und Sehbedingung wurde 2-4mal pro Versuchsperson wiederholt.

4. Datenauswertung: Die in 4 Kanälen gemittelten evozierten Potentiale wurden für die Auswertung auf die technische Nulllinie bezogen, d.h. auf diejenige Linie, die mit der gesamten Registrier- und Auswertungseinrichtung bei 93 Aufsummierungen, mit kurzgeschlossenen Vorverstärkereingängen erhalten wurde. Der Zeitpunkt der maximalen Hirnantwort auf den Reiz wurde dadurch bestimmt, dass in einem Zeitfenster zwischen 80-140 msec nach der Schachbrettmuster-Umkehr die grösste Amplitudendifferenz mit okzipital positiver Polarität zwischen irgendwelchen zwei der benutzten 5 Elektroden gesucht wurde. In der Tat war es bis auf wenige Fälle die Differenz zwischen der Referenzelektrode und einer der vier okzipitalen Elektroden.

Durch dieses Vorgehen konnte die Latenz der dominanten Antwort des evozierten Potentials ohne Vorwahl der Referenz bestimmt werden. Eine gemeinsame Referenzelektrode für die Ableitung ist jedoch erforderlich.

Im Zeitpunkt der maximalen Antwort wurde in jedem Kanal das momentane Potential als Differenz zwischen der Amplitude an der entsprechenden Elektrode und dem vorher definierten negativsten Wert (im Regelfall der technischen Nulllinie)

gemessen. Auf diese Art und Weise konnte ein Amplitudenprofil der Feldverteilung entlang der Mittellinie zur Zeit der maximalen okzipitalen positiven Antwort konstruiert werden. Fig. 3 zeigt ein Beispiel für die gemittelten evozierten Potentiale, die in einer Aufnahme in 4 Kanälen gewonnen wurden. Gleichzeitig ist das Resultat der Bestimmung der Latenzzeit und der Konstruktion des Amplitudenprofils zur Zeit der maximalen Antwort dargestellt. Für jede Versuchsperson und für die wiederholten Aufnahmen der Feldprofile mit identischen Seh- und Stimulusbedingungen wurden gemittelte Feldprofile berechnet. Danach wurden über alle Versuchspersonen gemittelte Feldprofile für jede Stimulus- und Sehbedingungen berechnet, nachdem pro Versuchsperson die pro Versuchsperson gemittelten Feldprofile auf 100% maximale Amplitude skaliert worden waren, um bei dem folgenden Mittelungsschritt alle Versuchspersonen gleichmässig in dem Mittelwert zu gewichten.

III. RESULTATE

1. Amplitudenprofile

Abb. 5 zeigt die über Versuchspersonen gemittelten Amplitudenprofile, die an den vier Elektroden gemessen wurden, für die vier Stimulusbedingungen; für jede Stimulusbedingung sind die monokular links, monokular rechts und binokular evozierten über alle Versuchspersonen gemittelten Amplitudenprofile dargestellt. Die Abbildung zeigt ausserdem die Signifikanz des Amplitudenunterschiedes zwischen den binokularen und den monokularen Profilen an. Die numerischen Signifikanzwerte der Amplitudenunterschiede werden in Tab. 1 gezeigt. Die Betrachtung der Abb. 5 zeigt, dass bei Stimulation der oberen Hemiretina (d.h. des unteren Gesichtsfeldes) sowohl mit grossen wie kleinen Quadraten die evozierten Amplitudenprofile für binokulare Stimulation anterior signifikant höhere Werte zeigen als die für monokulare Stimulation. Hingegen zeigt sich ein umgekehrtes Verhältnis bei den beiden posterioren Messpunkten: Binokular gewonnene Werte sind posterior signifikant niedriger als monokulare. Entsprechend dem in der Einleitung vorgeschlagenen Modell sind also offenbar die beiden Amplitudenprofile signifikant verschieden, und zwar in dem Sinne, dass das binokulare Profil mehr anterior als die beiden monokularen Profile zentriert ist. Die Resultate für die Stimulation der unteren Hemiretina sind wiederum für 56 min und 14 min Karos etwa gleich, zeigen jedoch befriedigend

signifikante Unterschiede zwischen binokularen und monokularen Profilen nur für die 56 min grossen Karos. Diese Profile sind, ganz im Gegensatz zu den von der oberen Hemiretina ausgelösten, anterior für die binokulare Reizung niedriger als für die monokulare Stimulation, während die posterioren Elektroden ein höheres Profil für die binokulare als monokulare Reizung zeigen. Wiederum sind die Ergebnisse an mehreren Elektrodenpositionen befriedigend signifikant. Es fällt auf, dass für die Stimulation der unteren Hemiretina bei binokularer Reizung das Feld nur zur Hälfte erfasst wird: Der Feldgipfel liegt entweder direkt am Inion oder noch mehr posterior; hingegen zeigt das durch monokulare Stimulation ausgelöste Feldprofil ein flaches Niveau niedriger Amplitude zwischen den drei posterioren Elektroden. Dies spricht für eine erhebliche statistische Streuung des Feldgipfels und eine Lage des mittleren Feldgipfels etwa in der Position der Elektrode direkt vor dem Inion. Die Resultate der Stimulation der unteren Hemiretina mit kleinen Karos sind nicht signifikant verschieden zwischen binokularer und rechts oder links monokularer Reizung. Wenn die monokularen Daten zusammen gegen die binokularen Resultate getestet werden, zeigt sich ein der Signifikanz nähernder Unterschied der Amplituden direkt über dem Inion (p kleiner als 0,05). Dies kann als Hinweis dafür bewertet werden, dass die kleinen Quadrate Resultate erzeugen, die grundsätzlich gleich den mit 56 min Karos ausgelösten Potentialprofilen sind. Die schlechte Auflösung bei der Stimulation mit kleinen Mustern ist vermutlich Folge ihrer bereits bekannten hohen Varianz bei Reizung der unteren Hemiretina.

Es ist darauf hinzuweisen, dass in Abb. 5 die durch obere Hemiretinareizung ausgelösten mittleren Profilgipfel über der Elektrode 2 erscheinen, während sie bei unterer Hemiretinareizung für rechtes und linkes Auge monokular offenbar etwa über Elektrode 3, binokular über Elektrode 4 direkt am Inion oder noch weiter posterior liegen.

2. Lokalisation des Profilmaximums

In einer parallelen, massiv reduzierten Datenauswertung der evozierten Amplitudenprofile wurde für jedes Profil diejenige Elektrode bestimmt, die den höchsten Amplitudenwert zeigte. Die Mittelung dieser Position der maximalen Amplitudenwerte über Versuchspersonen in den vier Stimulus- und drei Sehbedingungen ergab die in Tab. 2 und Abb. 6 gezeigten Resultate. Erwartungsgemäss zeigte sich, wie auch in der Untersuchung der gemittelten Profile, dass für obere Hemiretinastimulation die mittleren Maximalwerte signifikant mehr anterior bei binokularer als bei den beiden monokularen Stimulationen waren, und zwar sowohl für die Stimulation mit 56 min Karo-Schachbrettmustern als auch für die Stimulation mit 14 min Karos. Ebenfalls entsprechend den Resultaten, die mit den evozierten Feldprofilen gewonnen wurden, zeigte sich, dass bei unterer Hemiretinastimulation die Resultate topographisch umgekehrt waren: Binokulare Stimulation produzierte Maxima, die signifikant mehr posterior lagen als die durch monokular rechts oder monokular links applizierte Stimulation ausgelösten Maxima. Wiederum waren, wie auch bei den Potentialprofilen, die Resultate der Stimulation der unteren Hemiretina mit 14 min Karos nicht befriedigend signifikant, obwohl sich bei einer Mittelung der Werte beider monokularen Stimulationen ebenfalls eine Annäherung an signifikante Differenzen (binokular weiter posterior als monokular) zeigt. Diese Auswertung der Daten durch die extrem datenreduzierende topographische Feststellung des Maximalwertes ergab also Ergebnisse, die den Auswertungen mit Feldprofilen entsprachen.

3. Latenzen der maximalen evozierten Antwort

*
Die gemessene Latenz war immer der Zeitpunkt der maximalen positiven Amplitude des Kanals mit maximaler Amplitude, innerhalb des vorgegebenen Zeitfensters. Die Latenz der evozierten Antwort wurde für jede Versuchsperson für vier Stimulationsbedingungen und Sehbedingungen als Mittelwert berechnet, und dann über die Versuchspersonen gemittelt. Die Mittelwerte über Versuchspersonen gibt Tabelle 3A, mit den Standardabweichungen. Es zeigte sich, wie in Tabelle 3B wiedergegeben, dass binokulare Stimulation der oberen Hemiretina mit 56 und 14 min Karos und der unteren Hemiretina mit 56 min Karos signifikant (WILCOXON-Tests) kürzere Latenzen evozierte als rechts oder links monokulare Stimulationen; nur die Ergebnisse der Stimulation der unteren Hemiretina mit 14 min Karos waren nicht signifikant verschieden für mono- und binokulare Stimuli.

4. Amplituden der maximalen evozierten Antwort

Die Amplitude der maximalen Antwort (d.h. die Amplitude des auch für die oben besprochene Latenzbestimmung benutzten Potentialgipfels) wurde gegen die technische Nulllinie gemessen, und für jede Person für die vier Stimulations- und Sehbedingungen gemittelt. Für jede der vier Stimulations-/Sehbedingungen wurde der höchste der drei Mittelwerte (OD, OS, ON) gleich 100 gesetzt und die anderen beiden entsprechend skaliert, um für die folgenden Schritte eine gleichmässige Gewichtung der Versuchspersonen zu erreichen. Dann wurden die so skalierten Werte über die Versuchspersonen gemittelt. Tabelle 4A zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen, und Tabelle 4B die WILCOXON-Signifikanzen der Amplitudendifferenzen zwischen monokularen und binokularen Bedingungen. Tabelle 4A zeigt, dass in allen 8 Vergleichen die binokularen Stimulationen grössere mittlere relative Amplituden der Potentiale evozierten als die monokularen. Tabelle 4B zeigt, dass die Unterschiede zwischen monokularen und binokularen Stimulationen bei Stimulation mit dem 56 min Schachbrettmuster für obere sowohl als für untere Hemiretina-Reizungen in gepaarten WILCOXON-Tests signifikant waren; die mit 14 min Karo gewonnenen Werte waren nur unsignifikant grösser für binokulare als monokulare Stimuli.

IV. DISKUSSION

Die Resultate, die mit den zwei verschiedenen Stimulationsbedingungen sowohl für die obere als auch für die untere Hemiretina gesammelt wurden, widersprechen der in der Einleitung ausgeführten Hypothese über die erwartete Lokalisation der Maximalwerte der Potentialfelder: Simultan binokulare Stimulation produziert bei Reizung der oberen Hemiretina Potentialfelder mit mehr anteriorer Lokalisation als monokulare Stimulation, während sich bei der Stimulation der unteren Hemiretina die umgekehrte Verteilung fand, d.h. mehr posteriore Lokalisation bei binokularer Stimulation und mehr anteriore Lokalisation bei monokularer Stimulation. Diese Resultate wären dadurch zu erklären, dass in den extrastriären corticalen visuellen Gebieten eine entscheidende Zahl von Neuronen exklusiv auf simultan binokulare Stimuli antwortet, und dass derartige Neurone in der Area striata (Area 17) nur in geringerem Ausmasse oder gar nicht vorhanden sind. In der Tat haben Hubel und Wiesel 1970 über Neurone in Area 18 des Affen berichtet, die nur bei simultan binokularer Reizung aktiviert wurden: Einige Neurone antworteten nur auf querdysparate, andere auf direkt korrespondierende Reize. Neuerdings hat auch von der Heydt (unveröffentlichte Daten) in extrastriären Gebieten des wachen Affen ebenfalls eine erhebliche Zahl von exklusiv durch simultan binokulare Reizung erregbaren Neuronen gefunden; bei dieser Untersuchung bestand das Hauptinteresse an Neuronen,

die binokular disparate Reize beantworteten. Unsere Resultate weisen darauf hin, dass möglicherweise eine entscheidende Zahl von Neuronen in den höheren visuellen Arealen vorhanden ist, die auf binokulare Reize von Disparität Null antworten.

Smith und Jeffreys haben 1979 Resultate von evozierten Potentialuntersuchungen beim Menschen beschrieben, die mit einer von unseren Experimenten abweichenden Strategie gewonnen wurden: Sie benutzten sehr kurze 25 msec dauernde on/off Stimuli und massen die Effekte einer monokularen oder dichoptischen Prä-Adaptation auf zwei Komponenten des visuellen Potentials, die den striären und extrastriären Arealen zugeschrieben wurden. Die Resultate dieser Prä-Adaptationsversuche zeigten, dass bei monokularer Prä-Adaptation das vermutlich vom striären Gebiet (Area 17) produzierte Potential erheblich vermindert wurde, bei dichoptischer Prä-Adaptation jedoch nicht; dass andererseits bei monokularer und bei dichoptischer Stimulation das angeblich in extrastriären Arealen entstehende Potential gleichermassen vermindert wurde. Diese Resultate zeigen, dass offenbar, wie auch aus den einzelnen oben beschriebenen Einzelneuronenuntersuchungen bekannt, die striären Areale hauptsächlich monokular erregbare Neurone, extrastriäre Areale Neurone mit Input von beiden Augen (binokulare Neurone) beherbergen. Die Befunde liessen jedoch erwarten, dass die von uns in der Einleitung als Hypothese beschriebenen Potentialverteilungen bei direkten monokularen und simultan binokularen Stimulationen eintreten sollten: für obere Hemiretina bei binokularer Stimulation Maximum mehr posterior als bei monokularer

Stimulation, wo hingegen die von uns erhobenen Resultate gerade das Umgekehrte zeigten.

Die Frage ist zu stellen, ob die beobachteten Veränderungen der Topographie der evozierten Potentialfelder bei binokularer gegenüber monokularer Stimulation topographischen Veränderungen der evozierten Potentialfelder bei einer Veränderung der objektiven Helligkeit der Lichtreize entsprechen, wie sie als subjektive Helligkeitsveränderung bei binokularer gegenüber monokularer Darbietung erlebt wird. Die binokulare Sensitivität wurde im Vergleich zu monokularer Sensitivität als um einen Faktor zwischen 1,1 und 2 besser berichtet (Rose 1980), was einem maximalen Helligkeitsunterschied von 0,3 log Einheiten entspricht. Wir haben in einer Gruppe von 9 Versuchspersonen die topographischen Veränderungen bei Reizen ohne Filter und mit einem 0,3 log Einheiten Neutralfilter mit der Methodik, wie sie in der vorliegenden Arbeit berichtet wurde, untersucht, und keine Veränderungen der Topographie der Feldverteilung zwischen den beiden Stimulationsbedingungen festgestellt, obgleich die mittlere Latenz der maximalen evozierten Antwort von der "ohne Filter" zur 0,3 log Einheiten Neutralfilter-Bedingung um 5,5 msec anstieg. Es gibt daher keinen Anhalt dafür, dass die Verschiebung der evozierten Potentialfelder unter monokularen zu binokularen Reizbedingungen mit der subjektiven Helligkeit- oder der objektiven Lichtintensität in Zusammenhang steht.

Die signifikant verkürzte Latenz der hauptsächlichen evozierten Komponente in unseren binokularen im Vergleich

mit den monokularen Sehbedingungen kann verstanden werden als Ausdruck der effizienteren binokularen perzeptiven Funktionen (Blake und Fox 1973, Rose 1980), die auch durch die bekannte Erhöhung der Amplitude des Potentials bei binokularer gegenüber monokularer Reizung zum Ausdruck kommt (Amigo et al. 1974, Adachi 1980). Stärkere Reize führen in der Regel zu verkürzter Latenz und erhöhter Amplitude, was durch die stärkere Aktivierung schon der Rezeptorpotentiale oder im Falle der binokularen Reizung durch eine Konvergenz der Signale von beiden Augen verursacht wird.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Monokular und binokular durch Schachbrettmuster-Umkehr evozierte Potentiale (56 oder 14 min pro Karo Schachbrettmuster, 16 Grad Feld, 2/sec) wurden von einer Mittellinien-Reihe von 4 Elektroden (Inion bis 7,5 cm vor dem Inion) gegen eine gemeinsame Referenz bei 41 normalen Versuchspersonen registriert. Amplituden-Profile der evozierten Felder wurden zur Zeit der jeweils maximalen Antwort erstellt. Die über Versuchspersonen gemittelten Feldpotentiale zeigten eine signifikant mehr anteriore Lokalisation des evozierten Maximalwertes bei binokularer als bei monokularer Stimulation der oberen Hemiretina (für 56 und 14 min Karos), und umgekehrte Unterschiede bei Stimulation der unteren Hemiretina (binokulare Maxima mehr okzipital als monokulare). Es wird daraus geschlossen, dass binokulärer Input durch eine zumindest teilweise andere Neuronenpopulation verarbeitet wird als monokulärer Input. Die beobachteten Lokalisationen entsprechen der Annahme, dass Neurone die exklusiv auf simultane binokuläre Reize antworten, zahlreicher in höheren als in niedrigeren visuellen Arealen sind.

VI. ABSTRACT

Monocularly and binocularly evoked potentials (using checkerboard reversal, with 56 min or 14 min checks, 16 deg target, 2/sec reversal) were recorded from four midline electrodes (frominion to 7.5 cm above) vs a common anterior reference in 41 normal subjects. Amplitude profiles of the evoked potential fields were constructed at the latency of maximal potential difference between any 2 of the electrodes, between 85 and 130 msec. Mean profiles were computed over subjects. For upper hemiretina stimuli (56 and 14 min checks) the maximal mean profile amplitude for binocular responses was significantly more anterior than for monocular responses, whereas an inverted location difference was observed for lower hemiretina stimuli (i.e. binocular maxima more posterior than monocular).

We conclude that binocular input is processed by an at least partially different cortical neural population than monocular input. The observed localisations agree with the assumption that neurons which respond exclusively to simultaneously binocular stimuli are more frequent in higher than lower order visual areas.

REFERENCES

- ADACHI E.: Binocular effects on the VECF amplitude vs spatial frequency curve. *Acta Soc. Ophthal. Jap.* 83: 298-301 (1979).
- AMIGO, G., FIORENTINI, A., PIRCHIO, M., SPINELLI, D.: Binocular vision tested with visual evoked potentials in children and infants. *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.* 17: 910-915 (1978).
- BAKER, F.H., GRIGG, P., VON NORDEN, G.K.: Effects of visual deprivation and strabismus on the response of neurons in the visual cortex of monkey, including studies on the striate and prestriate cortex in the normal animal. *Brain Res.* 66: 185-208 (1974).
- BISHOP, P.O.: Neurophysiology of binocular single vision and stereopsis. In: R. JUNG (ed.): *Handbook of Sensory Physiology*. Vol. VII/3A, Springer Berlin 1973, pp. 256-305.
- BLAKE, R., FOX, R.: The psychophysical inquiry into binocular summation. *Perception Psychophysics* 14: 161-185 (1973).
- CAMPBELL, F.W., MAFFEI, L.: Electrophysiological evidence for the existence of orientation and size detectors in the human visual system. *J. Physiol.* 207: 635-652 (1970).

HUBEL, D.H., WIESEL, T.N.: Stereopsis vision in the macaque monkey. *Nature* 225: 41-42 (1970).

LEHMANN, D.: Spatial analysis of evoked and spontaneous EEG potentials. In N. YAMAGUCHI, K. FUJISAWA (eds.): *Recent Advances in EEG and EMG Data Processing*. Elsevier, Amsterdam (in press) (1981).

LEHMANN, D., SKRANDIES, W.: Multichannel evoked potential fields show different properties of human upper and lower hemi-retinal systems. *Exp. Brain Res.* 35: 151-159 (1979).

LEHMANN, D., SKRANDIES, W.: Reference-free identification of components of checkerboard-evoked multichannel potential fields. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 48: 609-621 (1980).

MICHAEL, W.F., HALLIDAY, A.M.: Differences between the occipital distribution of upper and lower field pattern evoked responses in man. *Brain Res.* 32: 311-324 (1971).

ROSE, D.: The binocular-monocular sensitivity ratio for movement detection varies with temporal frequency. *Perception* 9: 577-580 (1980).

SHAW, J.C.: Potential distribution analysis. I: a new technique for the analysis of electrophysiological phenomena. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 7: 273-284 (1956).

SKRANDIES, W., RICHTER, M., LEHMANN, D.: Checkerboard evoked potentials: topography and latency for onset/offset/ reversal. *Progr. Brain Res.* 54: 291-295 (1980).

SMITH, A.T., JEFFREYS, D.A.: Evoked potential evidence for differences in binocularity between striate and prestriate regions of human visual cortex. *Exp. Brain Res.* 36: 375-380 (1979).

ZEKI, S.M.: Uniformity and diversity of structure and function in rhesus monkey prestriate visual cortex. *J. Physiol.* 277: 273-290 (1978).

Tabelle 1A. Gemittelte Amplituden über Versuchspersonen (maximaler Wert einer Versuchsperson = 100%) an den vier Elektrodenpositionen mit Standardabweichungen, für die Stimulation der oberen Hemiretina. Gleiche Daten wie Abb. 3.

Karo grösse		56 min				14 min			
Elektrode		1	2	3	4	1	2	3	4
OU	x	76,2	95,9	73,5	61,5	75,4	97,6	73,4	55,1
	SD	28,7	8,2	28,2	20,3	16	7,5	14,6	16,5
	n	13	14	14	14	13	14	14	14
OD	x	66,6	92,9	90,3	68,4	67,4	95,8	78,2	58,6
	SD	24,2	9,1	10,8	21,8	17,4	9,1	15,1	19,5
	n	13	14	14	14	12	13	13	13
OS	x	67,3	92	90	70,9	69,2	97,6	79,6	64
	SD	23,5	11	10,9	15,6	16,7	6	14,5	16,1
	n	13	14	14	14	13	14	14	14

Tabelle 1B. Gemittelte Amplituden über Versuchspersonen (maximaler Wert einer Versuchsperson = 100%) an den vier Elektrodenpositionen mit Standardabweichungen, für die Stimulation der unteren Hemiretina. Gleiche Daten wie Abb. 3.

Karo grösse		56 min				14 min			
Elektrode		1	2	3	4	1	2	3	4
OU	x	40,5	68,8	83,9	91	41,5	66	65,3	93,4
	SD	28,7	30,7	12,6	13,8	35,7	38	34	13
	n	15	16	16	16	11	12	12	12
OD	x	54,5	79,7	80,9	81,6	31	67	77,2	88,2
	SD	30,6	32,7	15,7	24	31	30	13,9	23
	n	15	16	16	16	11	12	12	12
OS	x	50,9	77,5	78,8	81,9	38,8	71,4	72,5	87,3
	SD	34,5	31	19,2	17,5	32,4	31	26,6	21,2
	n	15	16	16	16	11	12	12	12

Tabelle 2. Mittlere Lokalisationen der maximalen Amplituden in Abhängigkeit von den Stimulations- und Sehbedingungen, in cm anterior vom Inion, und Signifikanz der Lokalisationsunterschiede.

A. Lokalisationen

		56 min Karo			14 min Karo		
		OD	OS	OU	OD	OS	OU
obere	x	1.57	1.64	2.04	1.73	1.79	2.07
Hemiretina	SD	.76	.63	.63	.66	.43	.47
	n	14	14	14	13	14	14
untere	x	1.13	1.13	.63	.58	.92	.67
Hemiretina	SD	1.02	.96	.88	1.08	1.16	.98
	n	16	16	16	12	12	12

B. Signifikanzen (einseitige WILCOXON-Tests) der Lokalisationsunterschiede zwischen (angegebenen) monokularen Stimuli und binokularen Stimuli.

		56 min Karo		14 min Karo	
		OD	OS	OD	OS
obere	p	0.01	0.025	0.05	0.05
Hemiretina	n	7	6	5	5
untere	p	0.05	0.05	ns	ns
Hemiretina	n	5	6	3	3

Tabelle 3. Latenzen der evozierten Potentiale.

A. Mittlere Latenzen und Standardabweichungen in msec.

		56 min Karo			14 min Karo		
		OD	OS	OU	OD	OS	OU
obere	x	100.6	101.1	98.6	101.8	101.1	99.7
Hemiretina	SD	5.4	5.2	4.9	4.3	4.3	5.1
	n	14	14	14	13	14	14
untere	x	116.2	116.3	110.9	113.6	115.7	115.2
Hemiretina	SD	10.7	10.1	11.4	15.2	15.2	16.8
	n	16	16	16	12	12	12

B. Mittelwerte (msec) und Signifikanz der mittleren Latenz-
unterschiede in WILCOXON-Tests zwischen binokularer (OU)
und angegebenen monokularen Stimulationen.

		56 min Karo		14 min Karo	
		OD	OS	OD	OS
obere	x	2.01	2.60	1.97	1.49
Hemiretina	p	.005	.005	.005	.025
	n	14	12	9	9
untere	x	5.20	5.50	1.60	0.40
Hemiretina	p	.025	.025	ns	ns
	n	16	13	10	10

Tabelle 4. Mittlere maximale Amplituden bei monokularer (OD, OS) und binokularer (OU) Stimulation der oberen und unteren Hemiretinae; benutzt wurden Prozentwerte des jeweiligen Maximalwertes (= 100%) der einzelnen Personen.

A. Mittlere Amplituden und Standardabweichungen

		56 min Karo			14 min Karo		
		OD	OS	OU	OD	OS	OU
obere	x	80.2	81.9	94.6	89.8	88.6	93.2
Hemiretina	SD	16.6	12.6	12.2	11.8	11.8	8.1
	n	14	14	14	13	14	14
untere	x	80.3	79.8	94	84.7	82.5	88.5
Hemiretina	SD	14.8	18.8	9.7	16.3	18.5	20.1
	n	16	16	16	12	12	12

B. Signifikanz der Amplitudendifferenzen (einseitige WILCOXON-Tests) zwischen binokularen (OU) und monokularen Stimulationen.

		56 min Karo		14 min Karo	
		OD	OS	OD	OS
obere	p	0.025	0.025	ns	ns
Hemiretina	n	13	13	13	14
untere	p	0.025	0.10	ns	ns
Hemiretina	n	16	16	12	10

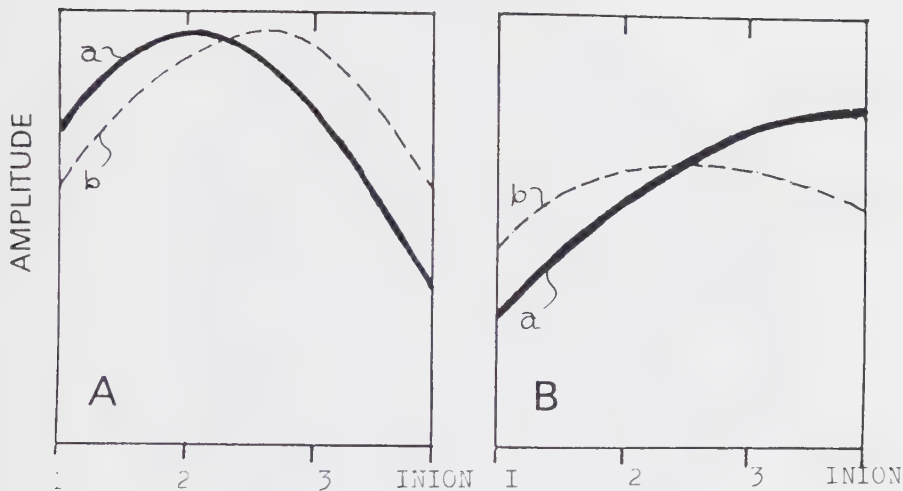


Abb. 1. Zwei hypothetische Amplitudenprofile a (dicke Linie) und b (gestrichelt), die von 4 Elektroden entlang der Skalp-Mittellinie registriert wurden. Die unterschiedliche Verteilung der Profile lässt die illustrierten Amplituden-Differenzen erwarten. A: Profil a mehr anterior, B: Profil b mehr posterior.

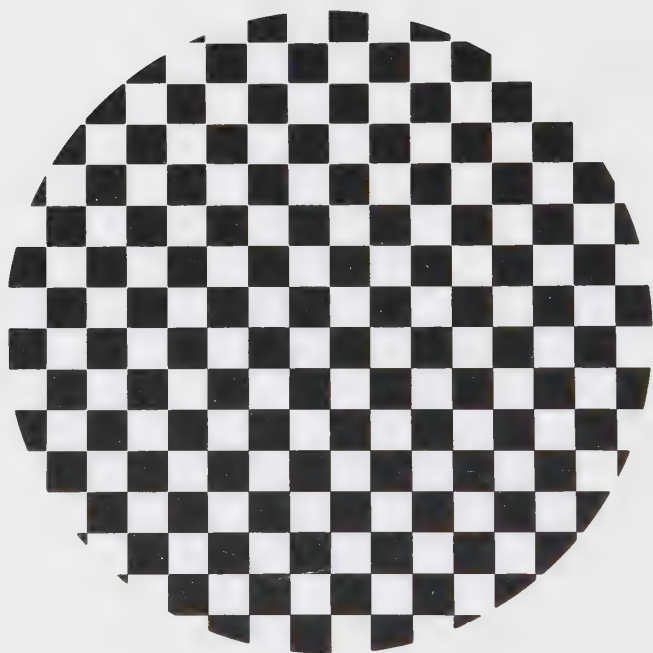


Abb. 2A. Schachbrettmuster, wie es zur Stimulation mit 56 min-Quadranten benutzt wurde.

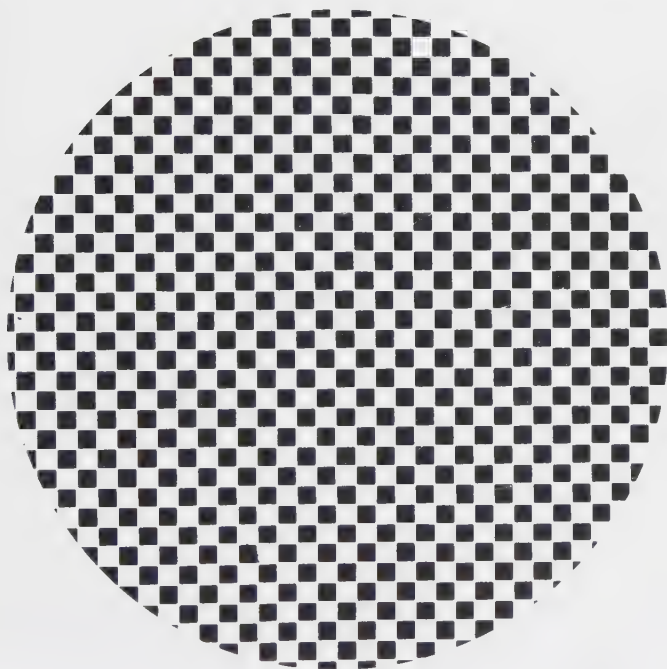


Abb. 2B. Schachbrettmuster, wie es zur Stimulation mit 14 min-
Quadranten benutzt wurde.

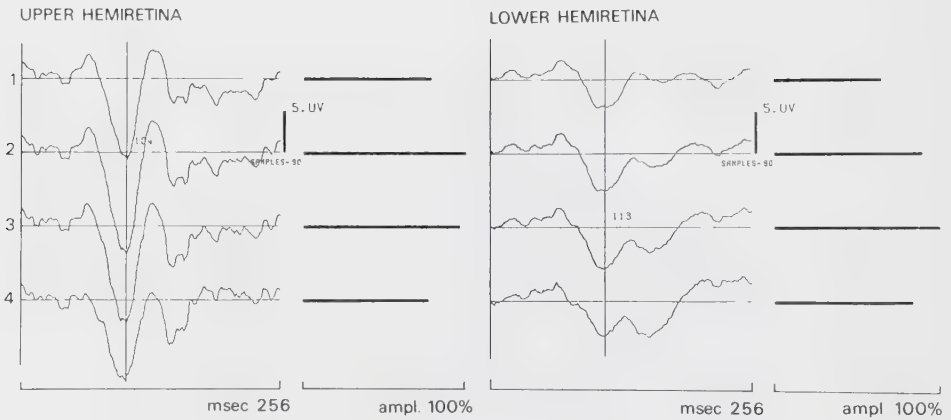


Abb. 3. Zwei Beispiele gemittelter evozierter Potentiale (links bei Stimulation der oberen, rechts der unteren Hemiretina, rechtes Auge, 56 min Schachbrett), von den vier okzipitalen Elektroden (4 am Inion) gegen die anteriore Referenz registriert. Computer-Graphik. Die technische Nulllinie ist eingezeichnet. Das Computer-Programm hat im vorgegebenen Zeitfenster die maximale Voltagedifferenz aufgesucht (senkrechter Strich), die Latenz bestimmt und für jeden Kanal die Amplitude gemessen, diese Zahlen auf 100 % für die grösste skaliert und als horizontale Balken ausgeplottet. Diese Balken beschreiben damit das evozierte Amplitudenprofil zur Zeit maximaler Voltage.

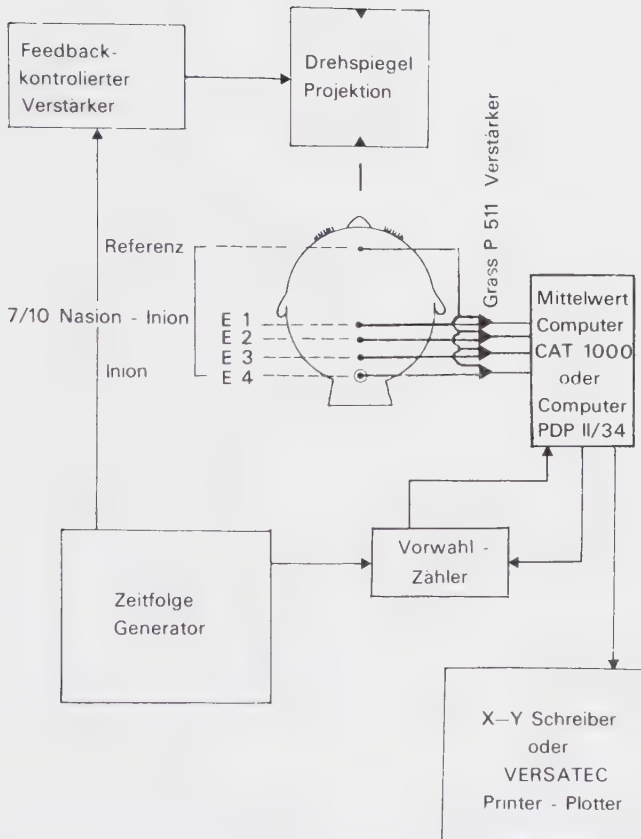


Abb. 4. Schema der Versuchsanordnung und Datensammlung. Die 4 okzipitalen Elektroden sind im Abstand von 2.5 cm in der Mittellinie, beginnend am Inion, angebracht.

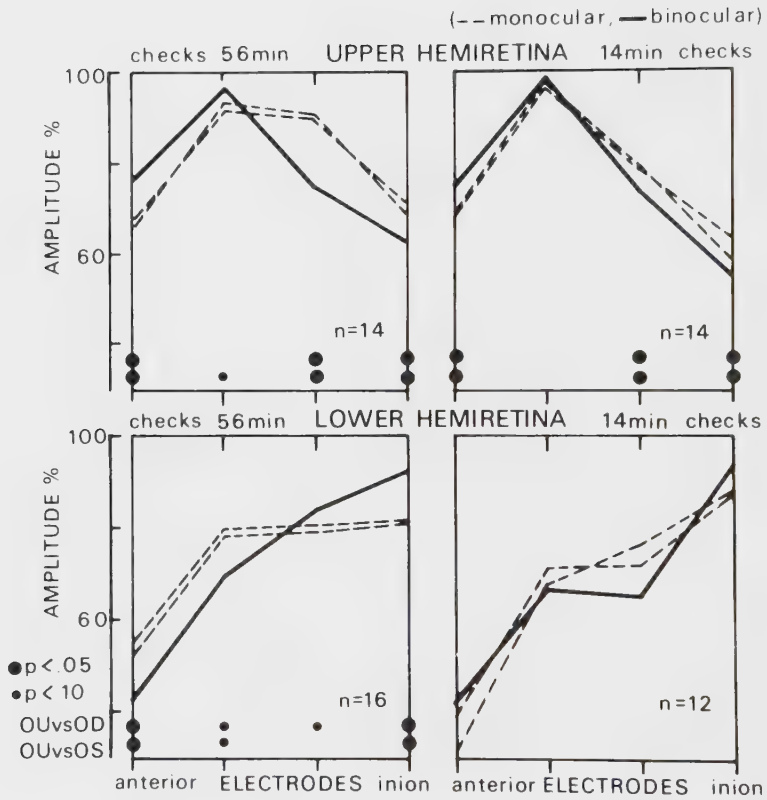


Abb. 5. Mittelwerte über alle Versuchspersonen der evozierten gemittelten Amplitudenprofile für die drei Sehbedingungen und für die vier Stimulusbedingungen. Die Signifikanzen (WILCOXON p) der Amplituden-Differenzen zwischen Sehbedingungen an den Elektrodenpositionen 1 bis 4 (Inion) sind durch Symbole gezeigt.

Siehe auch Abb. 1.

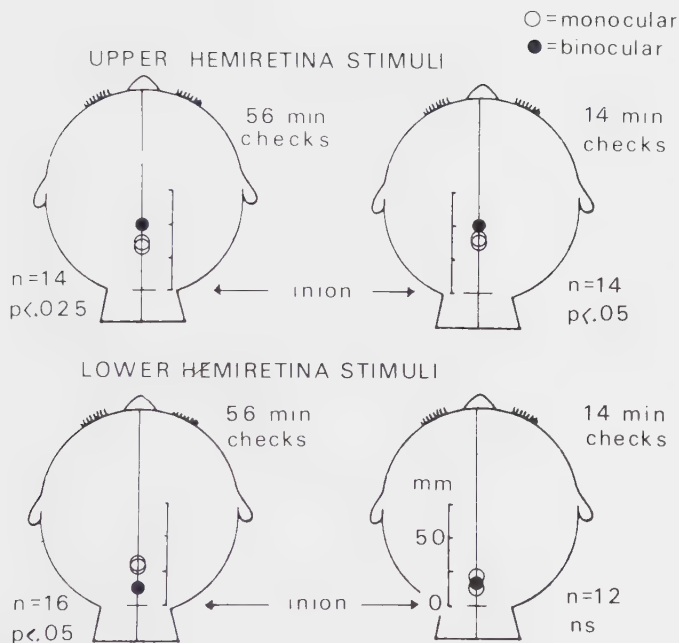


Abb. 6. Mittlere Lokalisationen (über Versuchspersonen) der evozierten Profilmaxima in den drei Sehbedingungen und für die vier Stimulusbedingungen. Elektrodenpositionen in der Mittellinie daneben als Skala gezeigt. Die Signifikanz (WILCOXON p) der Unterschiede war jeweils gleich für die Vergleiche zwischen rechtem Auge und linkem Auge gegen beide Augen (daher nur ein p Wert angegeben).

CURRICULUM VITAE

28.11.1945	geboren in Athen, Griechenland
1952 - 1958	Volksschule in Athen
1958 - 1964	Gymnasium in Athen
1964 - 1971	Studium der Medizin an der Universität Athen
1971 - 1973	Militärdienst
1973 - 1974	Allgemeinpraxis (Landarzt-Dienst), Aghios Thomas, Kreta, Griechenland
1974 - 1977	Assistenzarzt, Innere Abteilung des "Erythros Stavros" Krankenhauses, Athen
1977 - 1979	Assistenzarzt, Neurologie, Hardtwaldklinik, Zwesten, BRD
1979 - 1980	Assistenzarzt Psychiatrie, "Zentrum für medizinische Psychologie", Saarbrücken, BRD
seit 1.10.1980	Doktorand, Neurologische Universitätsklinik, Zürich

